第38卷　第4期　　干 旱 区 研 究　　Vol. 38　No. 4
2021年7月　　ARID　ZONE　RESEARCH　　Jul. 2021

塔里木盆地南缘绿洲土地覆盖变化及驱动力

高宇婷[1,2,3]，　于　洋[1,2,3]，　孙凌霄[1,3]，　于瑞德[1,3,4]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所/荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐　830011；2. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站，新疆 策勒　848300；3. 中国科学院大学，北京　100049；4. 烟台大学环境与材料工程学院，山东 烟台　264005）

摘　要：以塔里木盆地南缘的策勒绿洲为研究区，基于4期土地利用和遥感影像、以及气象、水文和社会经济数据，分析了1990—2018年策勒绿洲土地利用/覆被变化特征。结果表明：(1) 策勒绿洲各土地利用类型发生明显转变，农田面积向四周扩增，林地分布区域发生大幅度转移，不同覆盖程度的草地之间转化频繁。(2) 绿洲共有138.41 km^{2}的面积发生转变，占总面积的53.85%，各类型的单一动态度依次为：高覆盖草地>农田>低覆盖草地>建设用地>中覆盖草地>未利用土地>林地，双向动态度依次为：高覆盖草地>农田>低覆盖草地>建设用地>林地>中覆盖草地>未利用土地。(3) 绿洲林草植被指数低于0，表明林地和草地一直处于退化的状态；绿洲土地利用变化驱动力主要为人口、降水以及径流量。

关键词：荒漠绿洲；策勒绿洲；土地利用；时空变化；NDVI；驱动力

土地利用/覆盖变化是分析经济、社会和自然环境交织作用的核心，在全球环境变化过程中扮演着至关重要的角色[1-2]。土地利用是特定人地关系下多种因素共同作用的结果，土地作为陆地生态系统的基础，即是人类生存的依托，又是人类与环境相互作用的主要表现形式[3]。随着现代社会的进步和生产力的大力发展，人们对土地的利用方式不断转变、利用强度日益增加，导致土地利用类型发生巨大变化[4]。目前，国内外学者围绕土地利用/覆被变化的不同时间和空间尺度，借助遥感和地理信息系统技术平台，结合多种理论和方法，运用数学模型、结构模型等，针对土地利用的时空过程、模拟预测、动力学机制和景观格局展开广泛的研究[5-9]。Li等[10]学者对土地利用模拟技术的空间分辨率作了改进，为研究全球土地利用变化提供了一种更为准确的方法；刘纪元等[11]提出的通过遥感图像和人机交互解译法为分析土地利用变化提出了一种新思路。不少学者以生境质量、景观结构、土地利用强度、风险评估等为切入点对土地利用变化的特征进行了详细的描述[12-14]。大量研究表明，区域变化综合效应可能会带来对流域尺度乃至全球尺度的影响[15-16]，因此研究区域尺度LUCC时空特征及驱动力是研究大尺度变化乃至全球变化演变过程的基础。

在区域尺度方面以绿洲土地利用变化的研究最为典型，中国的绿洲基本都分布在西北地区，如新疆、甘肃、宁夏和内蒙古等地区，其中大部分绿洲主要分布在新疆，其绿洲承载了新疆90%以上的耕地、人口及经济生产总值。然而，绿洲生态环境极其脆弱，人类活动的微弱的变化就会造成绿洲生境破碎的风险增加[17-18]，进而影响绿洲的区域生态及水文过程。目前，受人类活动影响，干旱区绿洲的土地利用/覆盖格局正在发生快速变化，并且这种变化对绿洲脆弱生态环境平衡产生巨大影响[19]。为改善不合理的土地利用方式，提高土地利用可持续发展，学者们从数量变化、空间变化、土地利用集约程度变化、景观格局及动态度方面分析绿洲土地利用变化的特征，并应用相关分析和主成分分析对影响绿洲土地利用变化的驱动因素进行探讨，以改善

收稿日期：2020-09-14；　**修订日期：**2021-02-21
基金项目：中国科学院“西部青年学者”B类(2018-XBQNXZ-B-017)；中国科学院百人计划C类(Y931201)；新疆自治区高层次人才引进工程(Y942171)
作者简介：高宇婷(1995-)，女，硕士研究生，研究方向为干旱区水文. E-mail: gaoyuting18@mails.ucas.ac.cn
通讯作者：于洋. E-mail: yuyang@ms.xjb.ac.cn

绿洲的生态环境，提出绿洲可持续性发展的相应对策[20-24]。

近几十年来，策勒绿洲在人口增长和经济发展的驱动下，不断开采抽水井、开垦天然植被为耕地，使得绿洲耕地面积及灌溉量大幅增加，绿洲景观格局不断发生变化，绿洲退化风险程度加剧。因此，本文以新疆塔里木盆地南缘的策勒绿洲为研究区，通过分析长时间尺度绿洲地表覆被时空变化及其驱动机制，为保护绿洲生态环境，制定科学土地空间管理策略，实施可持续发展目标提供重要的科学依据。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

策勒绿洲地处塔里木盆地南缘(图1)，隶属于新疆和田地区策勒县，其边界以绿洲分布范围进行界定，地理坐标为35°18′~39°18′N，80°03′~82°10′E。其地势呈南高北低，海拔在1296.5~1370.5 m之间，中部发育山麓倾斜平原。流经绿洲的策勒河年均径流量为1.28×10^8 m^3。绿洲地区气候为暖温带干旱荒漠型，气温年均值为11.9 ℃，多年极端最高气温为42.0 ℃，极端最低气温为-23.9 ℃，年平均降水量仅为35.1 mm，蒸发量接近2595.3 mm，蒸发量远远超过降水量，全年无霜期在230 d左右，全年日照时数在2686 h以上。

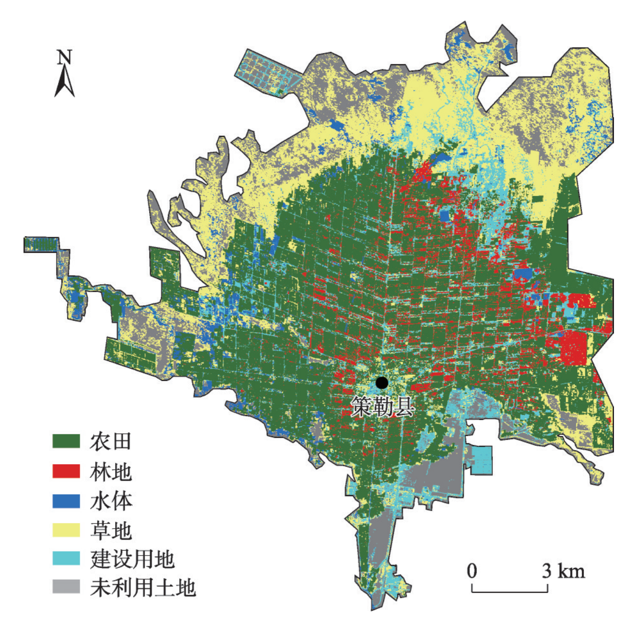


图1　策勒绿洲位置示意图

Fig. 1　Overview of Cele oasis

1.2　数据来源

采用来自中国科学院资源环境数据云平台(http://www.resdc.cn/)提供的1990年、2000年、2010年、2018年的策勒绿洲土地利用数据，其分辨率均为30 m×30 m，土地利用划分为耕地、林地、水域、建设用地、草地、未利用土地6个一级土地利用类型，草地进一步划分为高覆盖草地、中覆盖草地和低覆盖草地3个二级土地利用类型，该数据通过了质量检查和精度检验，土地利用一级类型综合评价精度达到94.3%以上，二级类型分类综合精度达91.2%以上[25]，且该数据目前已被广泛应用于全国范围内不同空间时间尺度的土地利用/土地覆盖变化监测[11,26]。

遥感影像来自美国地质勘探局(http://earthexplorer.usgs.gov/)用于计算植被的NDVI，其轨道号为146/34，选取当日天气晴朗，云量较低，像素分辨率均为30 m×30 m，采用与土地利用数据年份相应的4期遥感影像，为反映绿洲植被真实的生长状况，下载了生长季期间的遥感影像，分别为1990年Landsat5 TM(7月18号)、2000年Landsat7 ETM+(8月5号)、2010年Landsat5 TM(7月8号)、2018年Landsat8 OLI(7月14号)共4期卫星影像。对4期遥感影像首先运用ENVI软件进行辐射定标、大气校正、图像裁剪等预处理，再根据不同遥感影像的传感器选择相应波段计算NDVI并去除异常值，最终得到4期策勒绿洲NDVI空间分布数据。以这4期遥感影像为基准，利用ArcGIS在研究区范围内随机生成100个点，这100个随机点覆盖了研究区的所有土地利用类型，能够充分的代表各土地利用类型，对来自中国科学院资源环境中心的1990年、2000年、2010年和2018年土地利用数据进行验证，在验证过程中对于不确定土地利用类型结合同期谷歌历史高清影像进行地物识别，验证结果显示，4期土地利用数据一级分类精度分别为94%、95%、96%、95%。

本文用到的年尺度气温、降水和蒸发量数据来自于策勒气象站，径流量数据来自策勒水文站，这些数据之前有学者进行过分析研究[27-28]，在本文中主要是用于分析较长时间尺度上对策勒土地利用的影响。

1.3　研究方法

首先基于策勒绿洲4期土地利用数据分析该绿洲各土地利用类型的时空分布特征，再通过土地利用转移矩阵计算各土地利用类型数量上的变化，其

次根据林草植被指数判断转化过程中绿洲林地和草地的增减状况,以及利用动态度分析各土地利用类型的变化程度,最后通过MK趋势分析、主成分分析及多元线性回归模型等方法,分析策勒绿洲近几十年来土地利用类型变化的驱动因素。

1.3.1 土地利用转移矩阵 采用马尔可夫转移矩阵模型对策勒绿洲各土地利用类型之间数量上的转化情况进行描述,其数学表达式[29]如下所示:

$$P_{mn}=\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \cdots & P_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:n 为土地利用类型;P_{mn} 为土地利用类型 m 转化为土地利用类型 n 的转移概率,P_{mn} 须同时满足2个条件:$0\leqslant P_{mn}\leqslant 1$,$\sum P_{mn}=1$。

1.3.2 林草植被变化指数 该指数反映了某一个地区植被覆盖变化程度的重要指标,文中用于分析绿洲林地和草地的增减情况,计算公式如下[30]:

$$I=F_{t1}-F_{t2} \quad (2)$$

式中:I 是林草植被变化指数,取值-1~1;F_{t1}、F_{t2} 分别是 $t1$,$t2$ 年林草用地面积比重。若 I 值为正,表明区域林草植被增加,且 I 值越大,说明增加的速度越快;若 I 值为负,则反之。

1.3.3 土地利用类型动态度 单一土地利用类型动态度表达了一定时间范围内各土地利用类型的数量变化情况,其值反映绿洲某类土地利用的变化幅度和速度,其表达式为[31]:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times 100\% \quad (3)$$

式中:K 为研究时段内某一土地利用类型动态度;U_a、U_b 分别为研究期初和研究期末某一种土地利用类型的数量;T 为研究时段长。若 K 值为正数,则土地利用类型的面积倾向于增加的趋势,若 K 为负值,则反之,K 的绝对值大小表示某种土地利用类型转变的快慢。

双向土地利用度态度表示某一土地利用类型扩张与退缩双向动态变化率,可以反映各土地利用类型之间相互转化的剧烈程度,其表达式为[32]:

$$\bar{K}=\frac{(\Delta U_i+\Delta U_j)}{U_a}\times\frac{1}{T}\times 100\% \quad (4)$$

式中:$\bar{K}$ 为第 i 类土地利用类型的双向变化率;ΔU_i 表示由第 i 类土地利用类型转移到其他土地利用类型的面积;ΔU_j 为同时期其他土地利用类型转变为第 i 类土地利用类型的面积;U_a 为研究初期第 i 类土地利用类型的面积。

1.3.4 计算归一化植被指数(NDVI) 植被指数是通过卫星某些波段对植被敏感的特性,将这些光谱数据结合到一起所形成的图像植被指数,被用来分析绿洲植被生长状况,其计算公式如下[33]:

$$\mathrm{NDVI}=(\mathrm{NIR}-\mathrm{R})/(\mathrm{NIR}+\mathrm{R}) \quad (5)$$

式中:R是可见光红波段;NIR是近红外波段;其中TM传感器的红光波段为B3;近红外波段为B4;ETM+与OLI传感器的红光波段为B4,近红外波段为B5;计算结果将得到一幅灰度值表示的单波段影像,其像元值范围一般在 $-1\leqslant \mathrm{NDVI}\leqslant 1$。

1.3.5 M-K趋势分析 Mann-kendall检验对样本的分布特殊要求,数据独立即可,基本不受离群值的影响,文中用于分析各驱动因素的趋势变化特征,在检验中标准的正态统计变量 z 计算公式如下所示[34]:

$$z=\begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{Var}(S)}}, & \text{if } S>0 \\ 0, & \text{if } S=0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{Var}(S)}}, & \text{if } S<0 \end{cases} \quad (6)$$

S 为正态分布,其均值为0,检验方法为在给定的 α 置信水平上,如果 $|z|\geqslant|z_{\alpha/2}|$,则原假设是不可接受的,即在 α 置信水平上,时间序列数据存在明显的上升或者下降趋势。对于统计变量 $z>0$ 时,是向上趋势,反之,则是下降趋势。

1.3.6 多元线性回归 表示多个自变量与因变量之间是线性关系,本文中用于拟合各驱动因素与土地利用类型变化的关系,本文中将土地利用类型设为因变量 Y,将各驱动因素设为自变量 X,计算公式如下:

$$Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+\cdots+a_kX_k \quad (7)$$

式中:Y 表示因变量;$X_1, X_2, \cdots, X_k$ 表示自变量;$a_1, a_2, \cdots, a_k$ 表示回归系数。

2 结果与分析

2.1 绿洲土地利用时空变化

2.1.1 土地利用分布与变化 由图2所示,策勒绿洲4期土地利用分布表现为农田分布在绿洲内部,

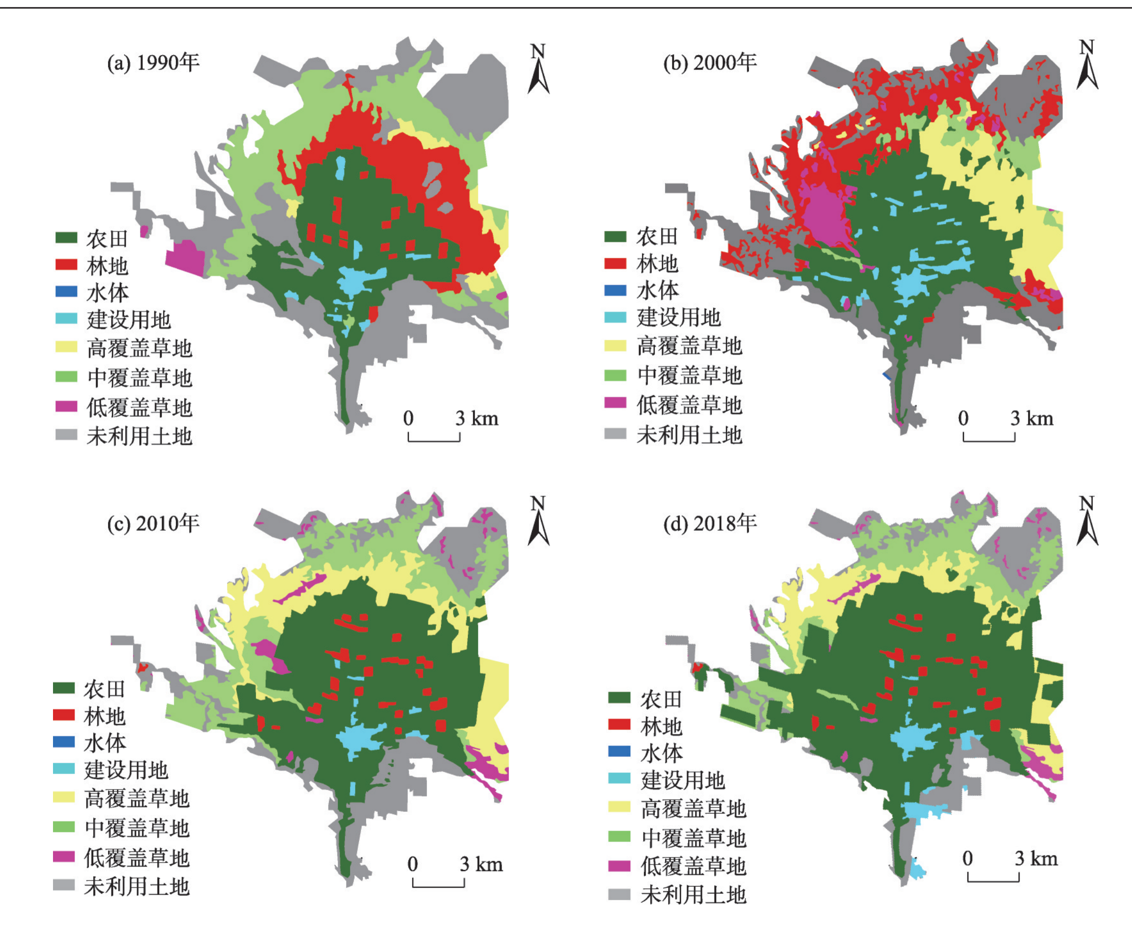


图2　策勒绿洲4期土地利用分布情况

Fig. 2　Distribution of land use in Cele oasis in four periods

占据绿洲的面积比重越来越大;不同覆盖程度的草地均分布在农田的外围;林地在1990年和2000年分布在农田外围,在2010年和2018年绿洲零散的分布在农田内部,未利用土地位于绿洲边缘,面积不断的缩减,建设用地分布在绿洲内部,整体而言,策勒绿洲各土地利用类型的分布位置呈现出空间集约性,并且各土地利用类型的分布从内向外扩增延伸。

1990—2018年间策勒绿洲各土地利用类型的面积和空间分布发生显著变化(图3),农田分布面积明显增大,逐渐成为占据绿洲的主要土地利用类型,增加区域集中在外围,尤其在东北部明显扩增。林地的分布位置发生大转变,1990年主要分布在绿洲东北部,2000年集中分布在西北部,2010年和2018年林地均交错分布在农田内部,最终表现为林地面积大幅度减少,新增部分较少且分布零散。不同覆盖程度的草地分布范围逐渐向绿洲边缘缩减,且不同草地类型内部相互发生转变。究其林草地退化的原因:(1)居民对燃料、居房建材和家畜饲料的需求而进行的伐木砍枝;(2)策勒绿洲东北部建立较为完善的渠系结构,随着农田在该方向扩增林地面积减少;(3)策勒河上游农田灌溉量增加,河水无法到达下游使植被生长受限以及绿洲边缘地区整体地下水位下降,进而植被草地生长衰退以至消亡[35]。建设用地面积在2000年明显增加,在2010年表现为中心城镇的扩增,在2018年表现为在绿洲东南部新增,但增加幅度较小。绿洲未利用土地减少部分明显,新增较少。

2.1.2　绿洲土地利用转移情况　利用ArcGIS空间叠加工具得到各种土地利用类型之间具体的转化情况,一方面可以分析不同土地利用类型空间上的变化过程;另一方面可以分析不同土地利用类型数量上的稳定性特征,计算结果如表1所示,研究时段内策勒绿洲各土地利用类型变化表现为:农田、居民建设用地面积增加,林地、未利用土地、高覆盖草地、中覆盖草地和低覆盖草地面积减少。最终绿洲共有138.41 km^2的面积发生转变,占总面积的53.85%,其中耕地为主要的转入者、林草地、未利用

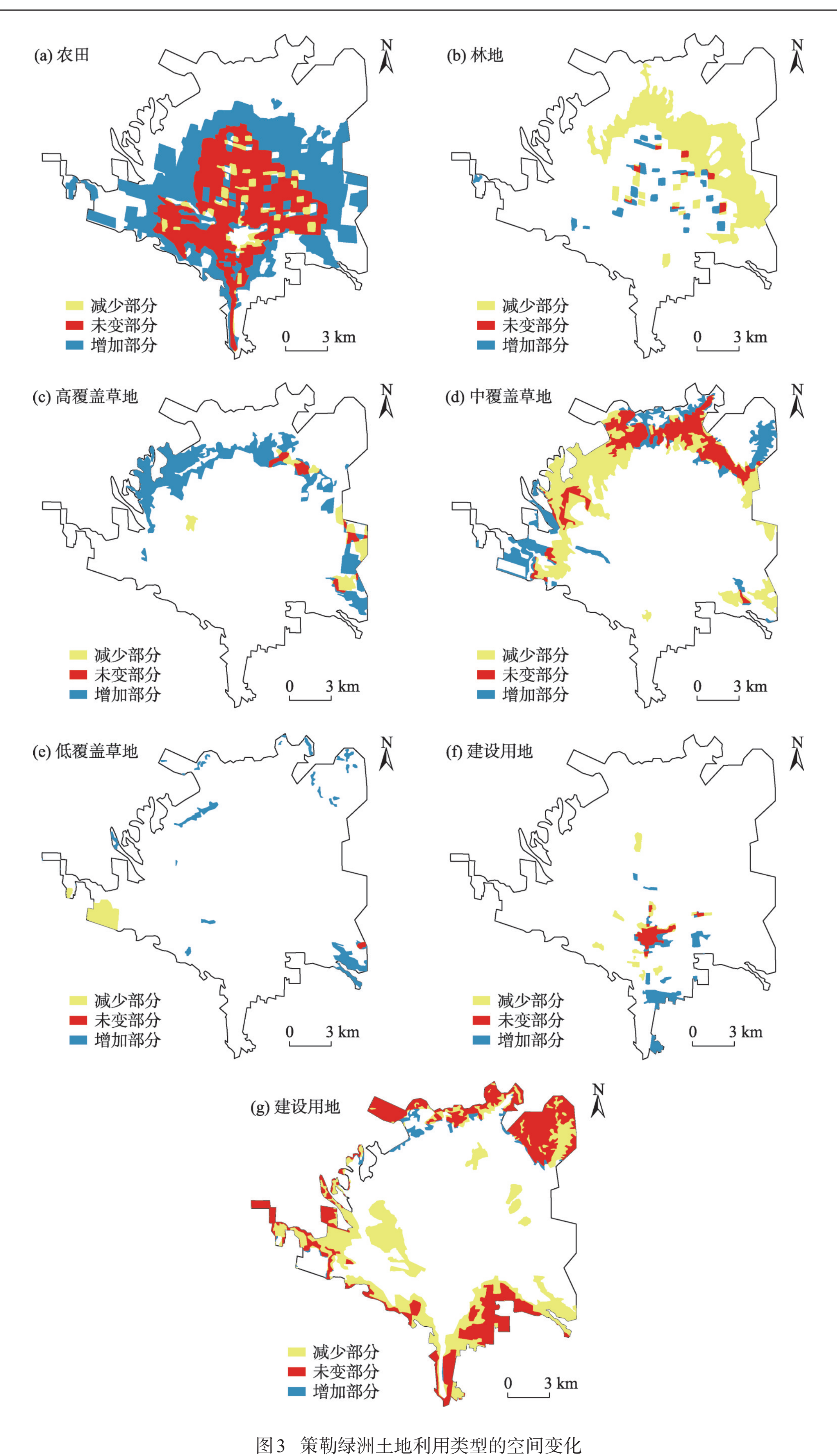


图3 策勒绿洲土地利用类型的空间变化

Fig. 3 Spatial variation of land use type of Cele oasis

表1　1990—2018年策勒绿洲土地利用转移矩阵

Tab. 1　Land use torque matrix of Cele oasis from 1990 to 2018

/km²

土地利用类型	农田	林地	高覆盖植被	中覆盖植被	低覆盖植被	建设用地	未利用土地	总计
农田	56.55	5.02		0.24	0.02	1.68	0.10	63.61
林地	33.56	1.24	7.05	1.45	0.02	0.13	0.05	43.50
高覆盖植被	4.20		2.32	0.62				7.15
中覆盖植被	12.75		16.04	17.79	1.38		2.55	50.51
低覆盖植被	1.58		0.00	1.82	0.21		0.13	3.74
建设用地	2.62	0.37				2.41		5.40
未利用土地	23.15	0.22	2.36	11.19	4.58	3.52	38.09	83.11
总计	134.41	6.84	27.78	33.11	6.21	7.75	40.92	257.02

土地为主要的转出者。具体表现为:林地77%转化为农田、沙漠28%转化为农田、高覆盖草58%转化为农田、中覆盖草地25%转化为农田、低覆盖草地42%转化为农田以及未利用土地27.85%转化为农田,农田面积扩增了70.80 km²,成为策勒绿洲面积最大的土地利用类型。建设用地的增加主要来自未利用土地,占比为45.44%。绿洲林地和草地增长面积为52.37 km²,退化的面积为83.34 km²,最终退化30.97 km²。再者通过计算得到1990—2018年的该绿洲林草植被变化指数均小于0,其中1990—2000年该指数为-2.23%,2000—2010年该指数为-1.75%,2010—2018年该指数为-8.07%,在2010—2018年间的林草植被指数最小,表明在这个时间段策勒绿洲的林草植被减少的速度加快,2000—2010年间的林草植被指数最大,表明在这个时间段策勒绿洲林草地减少,但减少速度在整个研究时间段最小。在整个研究时间段林草指数均为-12.05%,说明在1990—2018年,策勒绿洲植被(林地和草地)一直处于减少的状态。

2.2　绿洲土地利用动态度变化分析

为进一步分析各土地利用类型转化的速率,计算了绿洲单一动态度和双向动态度如下表2,在1990—2018年间各土地利用类型的动态度变化表现为:农田、高覆盖植被、低覆盖植被和建设用地的单一动态度和双向动态度均大于0,表明这4种土地利用类型的面积增加;林地、中覆盖植被和未利用土地表现为单一动态度均小于0,双向动态度均大于0,表明这3种土地利用类型的面积减少。结合单一动态度和双向动态度发现在1990—2018年,各土地利用类型的单一动态度均小于双向动态度,表明在此期间绿洲内部各土地利用类型的相互转化较为频繁,稳定性越差,双向动态度越大绿洲土地类型越容易受到外界因素的影响。

2.3　绿洲植被NDVI变化特征

归一化植被指数作为最常用的植被响应指标,能够较为精确的反映地表不同覆盖程度植被的生长态势。通过ArcGIS栅格计算器将策勒绿洲1990年、2000年、2010年和2018年的4期策勒绿洲NDVI

表2　1990—2018年策勒绿洲土地利用动态变化率

Tab. 2　Dynamic change rate of land use in Cele oasis from 1990 to 2018

土地利用类型	1990—2000年			2000—2010年			2010—2018年			1990—2018年		
	变化面积/km²	单一动态度/%	双向动态度/%	变化面积/km²	单一动态度/%	双向动态度/%	变化面积/km²	单一动态度/%	双向动态度/%	变化面积/km²	单一动态度/%	双向动态度/%
农田	15.62	2.46	4.55	28.16	3.56	6.11	27.07	3.15	3.32	70.84	3.98	10.41
林地	4.92	1.13	18.30	−41.55	−8.59	12.78	0.01	0.01	0.90	−36.62	−3.01	3.93
高覆盖植被	22.18	31.05	40.62	8.96	3.06	14.95	−10.50	−3.43	3.74	20.64	10.32	15.14
中覆盖植被	−40.00	−7.93	10.17	31.16	29.75	44.99	−8.53	−2.56	2.96	−17.37	−1.23	3.40
低覆盖植被	7.14	19.10	38.10	−2.93	−2.69	13.50	−1.74	−2.73	3.57	2.47	2.36	9.10
建设用地	2.69	5.00	16.19	−3.70	−4.57	9.50	3.37	9.59	10.25	2.36	1.56	5.52
未利用土地	−12.64	−1.52	4.09	−19.75	−2.81	3.35	−9.73	−2.40	2.68	−42.12	−1.81	2.06

求均值如图4a所示，由图可看出，多年来该绿洲NDVI空间分布表现为中心大于四周，NDVI值由中心向四周递减。由图4b可知，在1990—2018年间策勒绿洲NDVI呈现出不同程度的波动，波动范围在-0.46~0.60之间，红色部分是轻微，严重退化区域占比为27.56%，其中空白部分表示NDVI增大的区域，占整个绿洲的比重为72.44%。结合策勒绿洲土地利用类型空间分布，绿洲植被NDVI增加的土地利用类型主要为未利用土地，绿洲农田内部NDVI退化的原因可以概况为两个方面：(1) NDVI退化的区域与绿洲内建设用地的扩增有关系，是由于在农田内部居民建筑用地的扩增，以及农田灌溉渠系的建立和向四周延伸，随着建设用地的扩增，绿洲内部植被NDVI降低[27]。(2) 1990年绿洲内部分布林地的分布面积较大，到2018年林地面积显著缩减，1990年和2018年绿洲内部作物和植被的种植结构不一样，而据前人研究结果[36-37]显示：林地的NDVI值大于农田的NDVI，到2018年绿洲内部农田区域的NDVI值呈现出降低。(3) 1990年绿洲内部农田种植主要是以粮食作物为主；2018年绿洲内部种植业主要以经济作物为主，不同作物植被类型的NDVI值不同。

2.4 土地利用的驱动因素分析

策勒绿洲是典型的干旱区，生态系统结构简单，极易受自然和人类活动影响，对气候变化响应敏感，小幅度的气候变化都将对该绿洲的生态环境产生明显的影响。本研究主要考虑的自然因素包括：策勒河径流量、年均降水量、年均温、年均蒸发量；人为因素包括人口、粮食产量，以下将首先对各因素的变化特征进行分析，然后探讨各因素对绿洲土地类型变化的影响。

2.4.1 驱动因素变化特征 1960—2015年对策勒绿洲的年均降水量、年均温、年均蒸发量、策勒河径流量、人口、粮食产量采用M-K趋势分析法进行研究，从图5可知，降水量在1990—2000年间处于显著下降趋势，2000年之后 $UF>0$，降水量开始增加，但增加的趋势不明显。年均温从1960年来呈现出先减少后增加的趋势，1997年之后 UF 统计量均超过了显著水平线，表明温度持续增加且增加趋势显著。蒸发量从1960年以来表现出先减少后增加的趋势，在1985年之后增加趋势线超过显著性水平，说明蒸发量以显著的趋势持续增加。因此，说明策勒绿洲在1990年之后气候偏暖干，降水量减少，蒸发量增加，绿洲的气候变干燥，导致地表水的大量蒸发，进而导致植被、土壤需水量的增加，最终影响绿洲植被的分布生长状况。降水量和温度的变化除了直接导致天然植被面积发生变化，还通过调节土壤中含水量间接地影响绿洲覆被的空间布局。而人口数量在1990年之后持续增加，且增加趋势显著。粮食产量在1990年以后增加趋势线超过置信水平，粮食产量明显增加。人口增加对农田用地的需求增加，农田面积发生扩增。策勒河径流1990之后表现为不显著的增加趋势。依据和田用水计划，从策勒河提取的水资源约有82.1%用于农业灌溉，随着农田面积和人口的持续显著增加，对策勒河的需求量将持续增大。现有水资源只能满足饮水、农业和工

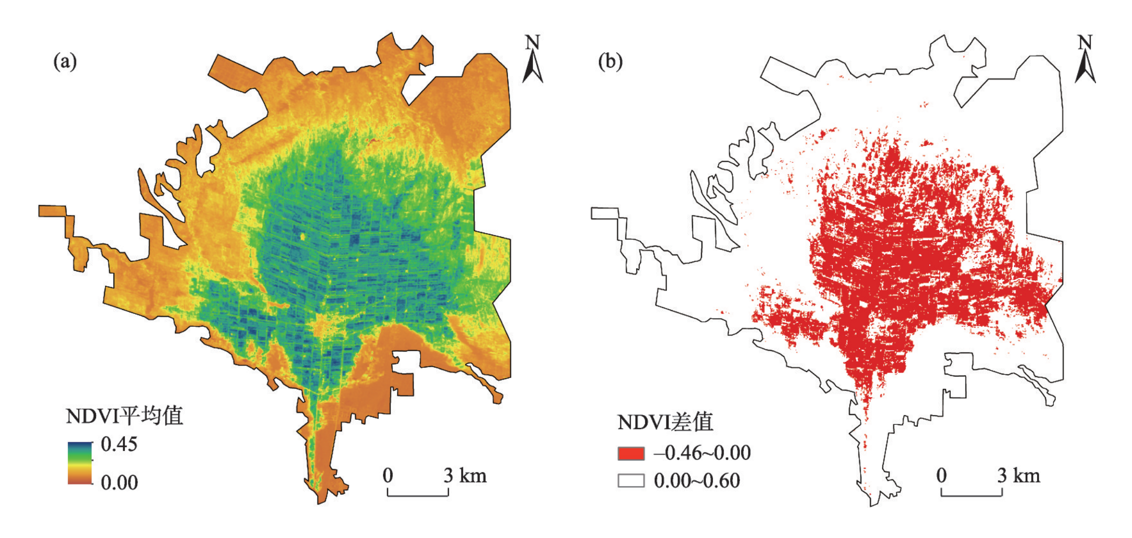


图4 1990—2018年策勒绿洲NDVI平均值分布(a)和NDVI差值变化(b)

Fig. 4 Change of mean NDVI distribution (a) and difference of NDVI (b) in Cele oasis from 1990 to 2018

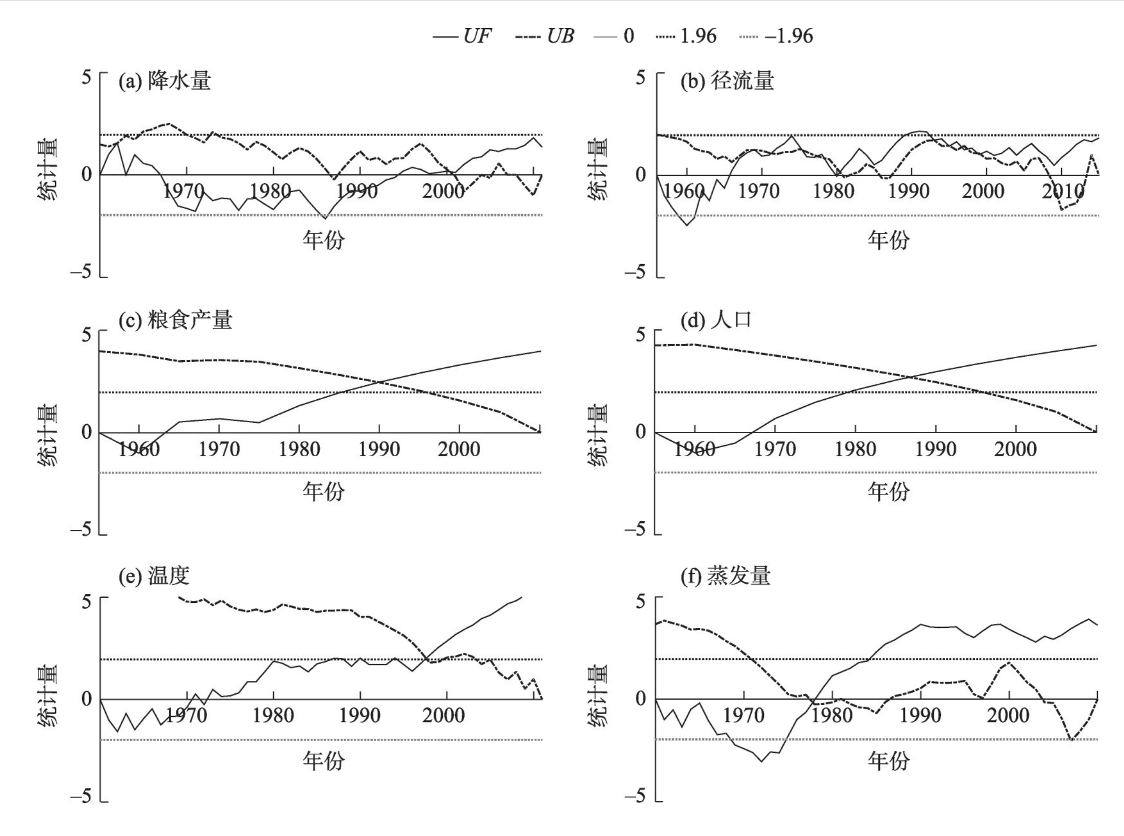


图5　各驱动因素变化趋势

Fig. 5　Variation trend of drivers

业的需水,当农田面积增加的速度超过一定程度时,策勒河径流量将难以满足下游天然植被的需水,进而影响草地植被的分布与数量。

2.4.2　驱动因素回归分析　为排除因子之间的相关性问题,对6个影响因子进行主成分分析,并依据计算出的特征值和累积方差贡献率的大小确定主成分数目。由表3可以看出,第一、第二主成分的累计贡献率超过90%,说明前2个主成分已经能充分代表原始驱动因子来反映策勒绿洲土地利用的具体情况。进一步计算6个驱动因子在前两主成分上的载荷,发现人口、粮食产量在第一主成分上的载荷较大,说明第一主成分代表经济社会因素。蒸发量、气温在第二主成分上的载荷最大,说明第二主成分偏向自然因素。

再运用多元回归分析法,计算该地区土地利用类型变化与提取出的2个主成分之间的函数关系。以各年份主成分得分系数作为自变量构建回归矩阵,进而建立起一个多元线性回归模型,在计算时,将土地利用类型设为因变量Y;主成分一为自变量$X1$,主成分二设为自变量$X2$;同时选用F检验和拟合度检验确定分析结果的准确性,回归分析结果与回归分析的参数估计及假设检验结果见表4。

表3　土地覆被变化驱动因子主成分分析

Tab. 3　Principal component analysis of driving factors of land cover change

因素	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分	第五主成分
径流量	0.448	0.312	−0.203	−0.168	−0.752
气温	0.290	0.692	0.344	0.512	0.221
降水	0.440	0.043	0.411	−0.727	0.326
蒸发量	−0.325	0.598	−0.569	−0.369	0.246
人口	0.451	−0.172	−0.479	0.190	0.468
粮食	0.461	−0.190	−0.344	0.089	−0.004
特征值	4.327	1.140	0.336	0.194	0.003
累计贡献率/%	0.721	0.911	0.967	0.999	1

由表4可知，农田用地变化与第一、第二主成分均表现为正相关性，且显著性水平较高，其中与代表社会因素的第一主成分的相关性较大，随着人口的增加农田用地明显增加。建设用地与第一，第二主成分拟合出的模型，显著水平最高（R^2=96.5%），表现为与第一主成分呈正相关，根据主成分代表的含义，说明社会因素驱动建设用地的增加，随着社会经济的发展，人们对住址、基础建设等需求增加，建设用地面积随之扩增。未利用土地面积变化拟合出的模型显著水平同样较高，与第一、第二主成分均为负相关关系，首先在与第一主成分代表的社会因素方面，随着人口的增加，绿洲的用地压力变大，未利用土地被不断开垦；在与第二主成分代表的自然因素方面，随着降水量和温度增加，促进天然植被的生长，因而未利用土地面积减少。其余土地利用类型与两主成分拟合出的模型显著性水平较低，说明这些土地利用类型面积变化与驱动因素的相关性较小。

表4 回归分析结果

Tab. 4 Regression analysis results

土地利用类型	回归方程	显著性水平
农田	Y=0.429X1+0.282X2	R^2=88.74%, F=11.82
林地	Y=−0.330X1−0.384X2	R^2=63.93%, F=2.66
高覆盖植被	Y=0.190X2−0.287X2	R^2=25.07%, F=0.50
中覆盖植被	Y=−0.105X1+0.618X2	R^2=48.30%, F=1.40
低覆盖植被	Y=0.094X1−0.737X2	R^2=65.76%, F=2.88
建设用地	Y=0.278X1−0.744X2	R^2=96.50%, F=41.40
未利用土地	Y=−0.426X1−0.161X2	R^2=81.44%, F=6.58

3 讨 论

（1）以位于塔里木盆地南缘的典型脆弱绿洲为研究区，基于1990年、2000年、2010年、2018年策勒绿洲4期土地利用数据和同期遥感影像数据，经研究发现该绿洲各土地利用类型的空间分布位置、面积均发生显著变化，不同类型之间转化较为频发，转化面积占到总面积53.85%，绿洲动态性大。其中农田的面积显著向四周扩增，尤其向东北部扩增最为明显。林地的空间分布由东北-西北-内部转移，且面积不断减少，草地的分布区域不断向绿洲边缘缩减，再者根据计算的林草植被指数同样说明绿洲林草地一直处于退化的状态。期间未利用土地面积不断减少，建设用地面积增加。绿洲各土地利用类型的变化状况与汉瑞英等[38]关于新疆南部土地利用变化研究结果一致。

（2）策勒绿洲土地利用类型发生明显转变，探究其原因，主要可以概况为人为、自然、政策因素这三方面。在人为因素方面：（1）随着人口的快速增加，人们为满足日常生活的需求，过度的采伐树木、放牧破坏草地植被和开垦农田；（2）策勒河上游建立水库，流到沙漠中的水量会进一步减少，影响绿洲过渡带以胡杨、柽柳、骆驼刺等为代表的自然植被乃至整个绿洲的存在；（3）人们建立渠系截流河水用于灌溉农作物而间接造成自然植被的大面积衰退或死亡的[39]。在自然因素方面，降水、径流量起的作用较为明显，具体表现为：随着绿洲面积扩大、需水量增加，致使流入沙漠的水量减少，下游植被的恢复更新得不到保证，且下游水量的减少使地下水补充量不足，水位下降，从而依靠地下水生长的植被衰退、消亡。

（3）绿洲边缘的天然植被并非都是耐旱植物，其生命的维持主要是靠地下水，此类植被一旦因人类破坏造成的地下水位降低而衰亡，要恢复如初非常难，最终影响策勒绿洲的土地利用类型分布。在政策因素方面，西部大开发、塔里木河生态综合治理工程、19省市援疆等政策的实施，其中天津对口支援策勒县进行了沙漠综合治理、建立灌区试点等计划，这些政策促进绿洲经济不断发展，人口数量持续增加，为满足经济社会发展需求，不断开垦土地，人工绿洲面积不断扩大，绿洲植被覆盖发生变化，直接影响绿洲的土地利用状况。综合而言，通常自然因素的影响在短时间内造成的影响是很小的，主要限制了绿洲的低覆盖度植被的生存，其主要影响是长期累积效应。而人为因素带来的影响在任何时期内都是非常明显，人文因素是绿洲土地覆盖变化的直接驱动力，对土地利用变化起到主导作用[40]。

4 结 论

（1）从空间分布上来看，策勒绿洲土地利用类型的空间分布发生明显的转变，农田分布面积明显向四周扩增，其中向东北部扩增最为显著，各时期林地的迁移方向为东北-西北-内部，草地分布区域

逐渐向绿洲边缘缩减,未利用土地面积不断减少。

(2)从时间尺度上来看,1990—2018年间策勒绿洲共有53.85%的面积发生转变,其中农田、居民建设用地面积增加,林地、未利用土地、高覆盖草地、中覆盖草地和低覆盖草地面积减少。各土地利用类型的动态度变化表现为:农田、高覆盖植被、低覆盖植被和建设用地的单一动态度和双向动态度均大于0,表明这4种土地利用类型的面积增加;林地、中覆盖植被和未利用土地表现为单一动态度均小于0,双向动态度均大于0,林草植被指数小于0。

(3)从NDVI的分布上来看,表现为中心大于四周,NDVI值由中心向四周递减。从NDVI的变化方面看,表现为NDVI增大的区域(72.44%)主要集中在绿洲边缘沙漠分布区,NDVI减少的区域(27.56%)主要集中在绿洲内部农田分布区。

(4)各驱动力因素对土地利用类型的影响结果为:建设用地、农田和未利用土地受各因素的影响最显著,农田和建设用地面积变化与人为因素呈正相关性,而未利用土地面积变化与人为因素和自然因素均表现为负相关性。

(5)干旱区绿洲生态系统结构简单,极易受自然和人类变化的影响,且反应显著。本文从土地利用转移矩阵、土地利用动态度、林草植被指数3个指标定量定性的探讨了策勒绿洲的土地利用/土地覆被变化,并对导致其变化的驱动因素进行了分析,为合理开发利用绿洲提供科学依据。

参考文献(References):

[1] Parker D C, Manson S M, Janssen M A, et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review [J]. Annals of the Association of American Geographers, 2003, 93(2): 314-337.

[2] 王一航, 夏沛, 刘志锋, 等. 中国绿洲城市土地利用/覆盖变化研究进展[J]. 干旱区地理, 2019, 42(2): 341-353. [Wang Yihang, Xia Pei, Liu Zhifeng, et al. Research progress of urban land use/cover change in the oasis cities of China[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(2): 341-353.]

[3] 胡栩, 聂勇, 徐霞, 等. 塔里木盆地南缘和田地区土地利用变化的遥感研究[J]. 地理科学进展, 2020, 39(4): 577-590. [Hu Xu, Nie Yong, Xu Xia, et al. Monitoring land-use change in Hetian Tarim Basin, China using satellite remote sensing observation between 1990 and 2016[J]. Progress in Geography, 2020, 39(4): 577-590.]

[4] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. [Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et. al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geographical Research, 2003, 22(1): 1-12.]

[5] 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜, 熊黑钢, 等. 塔里木盆地南缘绿洲土地覆盖变化[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 19-27. [Ding Jianli, Tashpolat Tiyip, Xiong Heigang, et al. Oasis land cover change in the southern edge of Tarim Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(1): 19-27.]

[6] 杨爱民, 朱磊, 陈署晃, 等. 1975—2015年玛纳斯河流域土地利用变化的地学信息图谱分析[J]. 应用生态学报, 2019, 30(11): 3863-3874. [Yang Aimin, Zhu Lei, Chen Shuhuang, et al. Analysis of geoscientional information map of land use change in the Manas River Basin from 1975 to 2015[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(11): 3863-3874.]

[7] Lai S, Leone F, Zoppi C, et al. Land cover changes and environmental protection: A study based on transition matrices concerning Sardinia (Italy)[J]. Land Use Policy, 2017, 67: 126-150.

[8] Zhang Fei, Ayinuer Y, Wang Dongfeng, et al. Ecological risk assessment due to land use/cover changes (LUCC) in Jinghe County, Xinjiang, China from 1990 to 2014 based on landscape patterns and spatial statistics[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77 (13): 1-16.

[9] Xie Yuchu, Gong Jie, Sun Peng, et al. Oasis dynamics change and its influence on landscape pattern on Jinta oasis in arid China from 1963a to 2010a: Integration of multi-source satellite images [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 33: 181-191.

[10] Li Xia, Chen Guangzhao, Liu Xiaoping, et al. A new global land-use and land-cover change product at a 1 km resolution for 2010 to 2100 based on human-environment interactions[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2017, 107(5): 1040-1059.

[11] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802. [Liu Jiyuan, Ning Jia, Kuang Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 789-802.]

[12] 刘方田, 许尔琪. 基于土地利用的新疆兵团与非兵团生境质量时空演变的对比[J]. 应用生态学报, 2020, 31(7): 2341-2351. [Liu Fangtian, Xu Erqi. Comparison of spatial-temporal evolution of habitat quality between Xinjiang Corps and Non-Corps region based on land use[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(7): 2341-2351.]

[13] 王福红, 赵锐锋, 张丽华, 等. 黑河中游土地利用转型过程及其对区域生态质量的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 4057-4066. [Wang Fuhong, Zhao Ruifeng, Zhang Lihua, et al. Process of land use transition and its impact on regional ecological quality in the middle reaches of Heihe River ,China[J]. Chinese Journal of

Applied Ecology, 2017, 28 (12): 4057-4066.]

[14] 刘新春, 张远东, 任光耀, 等. 新疆阜康荒漠绿洲景观格局动态及其影响因子分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1197-1202. [Liu Xinchun, Zhang Yuandong, Ren Guangyao, et al. Dynamics of ecological landscape pattern and its affecting factors in desert-oasis in Fukang, Xinjiang[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(7): 1197-1202.]

[15] 孙晨, 贡璐, 马勇刚, 等. 塔里木河上游典型绿洲土地利用时空格局分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(7): 113-122. [Sun Chen, Gong Lu, Ma Yonggang, et al. Temporal and spatial pattern analysis of land use in typical oasis in the upper reaches of the Tarim River[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2020, 48(7): 1-10.]

[16] Turner B. Local faces, global flows: The role of land use and land cover in global environmental change[J]. Land Degradation & Development, 1994, 5(2): 71-78.

[17] 丁玥, 阿布都热合曼·哈力克, 陈香月, 等. 和田地区植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1258-1268. [Ding Yue, Abdirahman Halik, Chen Xiangyue, et al. Spatial-temporal changes in vegetation characteristics and climate in Hotan prefecture [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(4): 1258-1268.]

[18] 康紫薇, 张正勇, 位宏, 等. 基于土地利用变化的玛纳斯河流域景观生态风险评价[J]. 生态学报, 2020, 40(18): 1-14. [Kang Ziwei, Zhang Zhengyong, Wei Hong, et al. Landscape ecological risk assessment in Manas River Basin based on land use change[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18): 1-14.]

[19] Guan Qingyu, Yang Liqin, Pan Ninghui, et al. Greening and browning of the Hexi corridor in Northwest China: Spatial patterns and responses to climatic variability and anthropogenic drivers[J]. Remote Sensing, 2018, 10(8): 1-20.

[20] 罗格平, 周成虎, 陈曦. 干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 63-72. [Luo Geping, Zhou Chenghu, Chen Xi. Process of land use/land cover change in the oasis of arid region[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(1): 63-72.]

[21] 杨依天, 郑度, 张雪芹, 等. 1980-2010年和田绿洲土地利用变化空间耦合及其环境效应[J]. 地理学报, 2013, 68(6): 813-824. [Yang Yitian, Zhen Du, Zhang Xueqin, et al. The spatial coupling of land use changes and its environmental effects on Hotan oasis during 1980-2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(6): 813-824.]

[22] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红. 新疆和田河流域土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 326-333. [Chen Zhongsheng, Chen Yaning, Li Weihong. Land use/cover change and their driving forces in Hotian River Basin of Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(2): 326-333.]

[23] 张军峰, 孟凡浩, 包安明, 等. 新疆孔雀河流域人工绿洲近40年土地利用/覆被变化[J]. 中国沙漠, 2018, 38(3): 664-672. [Zhang Junfeng, Meng Fanhao, Bao Anming, et al. Land use/cover change in artificial oases of Kongquehe River basin in Xinjiang in the past 40 years[J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(3): 664-672.]

[24] Yu Y, Markus D, Yu R D, et al. Large-scale hydrological modeling and decision-making for agricultural water consumption and allocation in the main stem Tarim River, China[J]. Water, 2015, 7(6): 2821-2839.

[25] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14. [Liu Jiyuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3-14.]

[26] 孙帆, 王弋, 陈亚宁. 塔里木盆地荒漠-绿洲过渡带动态变化及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3397-3407. [Sun Fan, Wang Yi, Chen Yaning. Dynamics of desert-oasis ecotone and its influencing factors in Tarim Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 39(10): 3397-3407.]

[27] 刘毅. 塔里木盆地南缘绿洲灌区地表水与地下水联合利用研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019. [Liu Yi. Combined Utilization Research of Surface Water and Groundwater in Oasis Irrigation District of Southern Margin of Tarim Basin [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2019.]

[28] 曾佳, 郭峰, 赵灿, 等. 塔克拉玛干沙漠南缘小绿洲近50 a来气候变化特征[J]. 干旱区地理, 2014, 37(5): 948-957. [Zeng Jia, Guo Feng, Zhao Can, et al. Climate change of small oases in the southern margin of Taklimakan Desert in recent 50 years[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(5): 948-957.]

[29] Das S, Sarkar R. Predicting the land use and land cover change using Markov model: A catchment level analysis of the Bhagirathi-Hugli Rive [J]. Spatial Information Research, 2019, 27(4): 439-452.

[30] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间1998-2010年土地利用变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 42-53. [Luo Ya, Yang Shengtian, Liu Xiaoyan, et al. Land use change in the reach from Hekouzhen to Tongguan of the Yellow River during 1998-2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 42-53.]

[31] 付建新, 曹广超, 郭文炯. 1980—2018年祁连山南坡土地利用变化及其驱动力[J]. 应用生态学报, 2020, 31(8): 2699-2709. [Fu Jianxin, Cao Guangchao, Guo Wenjiong. Land use change and its driving force on the south slope of Qilian Mountains from 1980 to 2018[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(8): 2699-2709.]

[32] 颉耀文, 弥沛峰, 田菲. 近50年甘肃省张掖市甘州区绿洲时空变化过程[J]. 生态学杂志, 2014, 33(1): 198-205. [Xie Yaowen, Mi Peifeng, Tian Fei. The temporal and spatial change of the oasis in Ganzhou District, Zhangye City of Gansu Province in the recent five decades[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 33(1): 198-205.]

[33] Ma M, Veroustraete F. Reconstructing pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the Northwest of China[J]. Advances in

Space Research, 2006, 37(4): 835-840.

[34] 孙天瑶, 李雪梅, 许民, 等. 2000—2018年塔里木河流域植被覆盖时空格局[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 415-424. [Sun Tianyao, Li Xuemei, Xu Min, et al. Spatial-temporal variations of vegetation coverage in the Tarim River Basin from 2000 to 2018[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(2): 415-424.]

[35] 王兮之, 葛剑平. 40多年来塔南策勒绿洲动态变化研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 369-375. [Wang Xizhi, Ge Jianping Dynamic changes of the Cele oasis over a 40 year period [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(3): 369-375.]

[36] 叶贵祥, 李维青, 田源. 基于NDVI的干旱区典型绿洲植被覆盖动态变化分析——以策勒绿洲为例[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(9): 128-133. [Ya Guixiang, Li Weiqing, Tian Yuan. Dynamic changes of vegetation cover in typical oasis of arid areas based on NDVI: A case study in Cele oasis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(9): 128-133.]

[37] 白燕英, 高聚林, 张宝林. 基于Landsat8影像时间序列NDVI的作物种植结构提取[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 893-901. [Bai Yanying, Gao Julin, Zhang Baolin. Extraction of crop planting structure based on time-series NDVI of Landsat8 images[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(4): 893-901.]

[38] 汉瑞英, 赵志平, 肖能文, 等. 2000-2015年新疆南部地区土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J]. 科技通报, 2020, 36(2): 24-31. [Han Ruiying, Zhao Zhiping, Xiao Nengwen, et al. Analysis on the land use change and its driving forces in southern region of Xinjiang province during 2010-2015[J]. Bulletin of Science and Technology, 2020, 36(2): 24-31.]

[39] 张树森, 杨军, 陈曦. 新疆绿洲地区县域城乡总体规划特色研究——以新疆和田地区策勒县为例[J]. 规划师, 2010, 26(增刊2): 41-44. [Zhang Shusen, Yang Jun, Chen Xi. Desert oasis county level urban- rural planning: Xinjiang Autonomous Region, Cele county example[J]. Planners, 2010, 26(Suppl. 2): 41-44.]

[40] 郝兴明, 李卫红, 陈亚宁,等. 塔里木河干流土地利用/覆盖变化的社会经济驱动力分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 405-411. [Hao Xingming, Li Weihong, Chen Yaning, et al. Analysis of socio-economic driving forces on land use and land cover change in Tarim River Basin[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(3): 405-411.]

Land coverage change and driving forces of an oasis in the southern margin of Tarim Basin

GAO Yuting[1,2,3], YU Yang[1,2,3], SUN Lingxiao[1,3], YU Ruide[1,3,4]

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2. Cele National Station of Observation and Research for Desert-Grassland Ecosystems, Cele, 848300, Xinjiang, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. School of Environmental and Material Engineering, Yantai University, Yantai 264005, Shandong, China)

Abstract: The characteristics of land use/cover change of the Cele oasis, in the southern margin of Tarim Basin, from 1990 to 2018 were explored and attributed based on four phases of land use and remote sensing images, as well as meteorological, hydrological, and socio-economic data. We found that the land use types in the Cele oasis changed substantially: The farmland area expanded to the surrounding area, the forest land distribution area shifted substantially, and the coverage of grassland changed frequently. Overall, 138.41 km^2 (53.85%) of the total area was transformed. In descending order, the single dynamic attitude was high covered grassland>farmland>low cover grassland>construction land>medium covered>grassland unused land>forest land, and in descending order, the double directional trend was high covered grassland>farmland>low cover grassland>construction land>forest land>medium covered>grassland unused land. The results also showed that the vegetation index of the green continent was less than 0, which indicates that forest land and grassland have been in a state of degradation. The driving forces of land use change in the oasis were population, precipitation, and runoff, based on the factors influencing surface cover in the oasis.

Keywords: desert oasis; Cele oasis; land coverage; spatio-temporal variability; NDVI; driving force